Karlsruher Institut für Technologie

WiSe 2016/17

Einführung in Theoretische Teilchenphysik

Vorlesung: Prof. Dr. M.M. Mühlleitner – Übung: Dr. D. López-Val, Dr. M. Sekulla

Übungsblatt 11

Abgabe: Fr, 27.01.17, 12:00 – Besprechung: Mo, 30.01.17 11:30 Raum 12/1; Mi, 01.02.17 9:45 Raum 10/1

Aufgabe 23: Higgs-Zerfälle **15 Punkte**

In dieser Aufgabe sollen die Partialbreiten Γ der wichtigsten Baumgraph-Zerfallskanäle des Higgs-Bosons berechnet werden. Diese sind definiert als

$$\Gamma(H \to XY) = \frac{1}{2M_H} \int \mathrm{dPS(2\text{-}Teilchen)} \overline{\sum} |\mathcal{M}_{H\to XY}|^2 \ .$$

Für identische Teilchen im Endzustand, $X = Y$, ist dieses Ergebnis noch mit einem Symmetriefaktor $\frac{1}{2}$ zu multiplizieren.
Berechnen Sie daraus die Partialbreiten des Higgs für die folgenden Zerfälle:

(a) $\boxed{5\text{ P}}$ W-Bosonen W^+W^-

$$\Gamma(H \to W^+W^-) = \frac{G_F M_H^3}{8\sqrt{2}\pi} \left(1 - \frac{4M_W^2}{M_H^2}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{4M_W^2}{M_H^2} + \frac{12M_W^4}{M_H^4}\right) ,$$

(b) $\boxed{2\text{ P}}$ Z-Bosonen ZZ

$$\Gamma(H \to ZZ) = \frac{G_F M_H^3}{16\sqrt{2}\pi} \left(1 - \frac{4M_Z^2}{M_H^2}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{4M_Z^2}{M_H^2} + \frac{12M_Z^4}{M_H^4}\right) .$$

(c) $\boxed{5\text{ P}}$ Fermionenpaare $f\bar{f}$

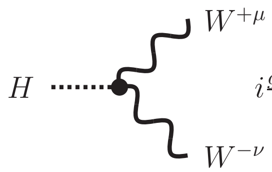
$$\Gamma(H \to f\bar{f}) = N_C \frac{G_F m_f^2 M_H}{4\sqrt{2}\pi} \left(1 - \frac{4m_f^2}{M_H^2}\right)^{\frac{3}{2}} .$$

(d) $\boxed{3\ \mathrm{P}}$ Erstellen Sie eine Grafik, die das Verzweigungsverhältnis $\mathrm{BR}(H \to XY, M_H) = \frac{\Gamma(H \to XY, M_H)}{\sum_{AB} \Gamma(H \to AB, M_H)}$ als Funktion der Higgsmasse zwischen 10 und 1000 GeV zeigt, wobei die Summe im Nenner über alle möglichen Endzustände geht. Berücksichtigen Sie dabei die folgenden Teilchen mit jeweiligen Massen:

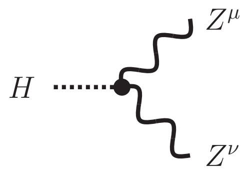
Bosonen: W(80,385 GeV), Z(91,1876 GeV),
Fermionen mit $N_C = 3$ (Quarks): t(173,21 GeV), b(4,78 GeV), c(1,275 GeV)
Fermionen mit $N_C = 1$ (Leptonen): τ(1,777 GeV)

Zur Berechnung werden die folgenden Relationen und Feynmanregeln benötigt:

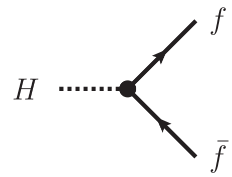
$$G_F = \frac{1}{\sqrt{2}v^2} = 1,16638 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{GeV}^{-2}\,, \qquad M_W = \frac{gv}{2} = c_W M_Z\,,$$
$$\sum_\lambda \epsilon^*_\mu(p,\lambda)\epsilon_\nu(p,\lambda) = -g_{\mu\nu} + \frac{p_\mu p_\nu}{p^2}\,,$$



$i\frac{g^2 v}{2} g^{\mu\nu}$,



$i\frac{g^2 v}{2c_W^2} g^{\mu\nu}$,



$i\frac{m_f}{v}$.

Aufgabe 24: Das Glashow-Iliopoulos-Maiani Mechanismus $\boxed{\textbf{5 Punkte}}$

Berücksichtigen Sie in dieser Aufgabe nur die 3 leichtesten Quarks u, d, s des SM. Ihre elektroschwache Wechselwirkungen wird durch die folgende Lagrangedichte beschrieben:

$$\mathcal{L} = -\frac{g}{2\sqrt{2}} W_\mu^+ \, J^\mu_{\text{CC}} - \frac{g}{2\cos\vartheta_W} Z_\mu \, J^\mu_{\text{NC}}$$

$$J^\mu_{\text{CC}} = \overline{u}\,\gamma^\mu\,(1-\gamma_5)\,d' \; ; \qquad J^\mu_{\text{NC}} = \overline{u}\,\gamma^\mu\,(g_v - g_a\,\gamma_5)\,u + \overline{d}'\,\gamma^\mu\,(g_v - g_a\,\gamma_5)\,d'$$

wobei $d' = d\,\cos\vartheta_C + s\,\sin\vartheta_C$; s, d stellen die physikalischen Eigenzustände des Down-Quarks bzw. Strange-Quarks dar und ϑ_C bezeichnet den Cabbibo-Winkel.

(a) $\boxed{2\text{ P}}$ Zeigen Sie, dass sowohl die geladenen als auch die neutralen Ströme zu flavor-ändernden Prozessen führen würden (z.B Strangeness-ändernde $\Delta S = 1$ Interaktionen).

Da es jedoch experimentell keinen Hinweis auf diese flavor-ändernden Ströme gab, postulierten Glashow, Iliopoulos und Maiani (1973) das Charm-Quark, um diese direkten flavor-ändernden neutralen Strömen (FCNCs) im SM zu verbieten.

(b) $\boxed{3\text{ P}}$ Überprüfen Sie, ob direkte FCNC-Kopplungen vorhanden sind, wenn ein zweites Quarkdublett

$$\begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u \\ d\cos\vartheta_C + s\sin\vartheta_C \end{pmatrix} \qquad \begin{pmatrix} c \\ s' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c \\ d\,X + s\,Y \end{pmatrix}$$

eingeführt wird. Bestimmen Sie die passenden Werte für X und Y und zeigen Sie die Unitarität der Mischungsmatrix $V_{dd',ss'}$

$$V_{dd',ss'} = \begin{pmatrix} \cos\vartheta_C & \sin\vartheta_C \\ X & Y \end{pmatrix} .$$